Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 12, No. 2, Summer 2020, p. 223-229

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۲۹-۲۲۳

مقاله علمی- پژوهشی

مقایسه‌ی برخی مدل‌های غیرخطی در توصیف منحنی رشد گوسفندان ماکویی

میثم لطیفی[۱*]، صادق علیجانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲

چکیده

هدف از این تحقیق مقایسه مدل‌های غیرخطی نمایی منفی، لجستیک، ون برتالانفی، برودی و گمپرتز برای برازش منحنی رشد در گوسفند ماکویی بود. داده‌های مورد استفاده شامل۵۹۱۳ رکورد وزن بدن از ۱۹۶۶ بره نر و ۷۰۹۲ رکورد از ۲۳۵۴ بره ماده بود (از تولد تا ۲۲۵ روزگی)، که طی سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۹۰ در ایستگاه پرورش و اصلاح نژاد گوسفند نژاد ماکویی شهرستان ماکو جمع آوری شده بود. برازش مدل‌های غیرخطی با استفاده از رویه‌ی حداقل مربعات غیرخطی (NLIN) نرم افزار SAS انجام شد. به منظور تعیین بهترین مدل از ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و معیار اطلاعات بیزی (BIC) استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل برودی با داشتن بالاترین R^2_{adj} و کمترین RMSE، AIC و BIC بهتر از دیگر مدل‌ها، منحنی رشد گوسفند نژاد ماکویی را برازش کرد. به ترتیب کمترین و بیشترین همبستگی منفی بین دو پارامتر A و k برای کل بره‌ها در مدل لجستیک (۰/۵۹-) و برودی (۰/۹۷-) بدست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل برودی برای تعیین برخی از راهبردهای مدیریتی مانند تعیین برنامه‌های تغذیه‌ای و سن مناسب کشتار گوسفندان ماکویی مفید می-باشد.

کلمات کلیدی: گوسفند ماکویی، مدل‌های غیرخطی، منحنی رشد، وزن بدن.

مقدمه

از مهمترین ویژگی‌های حیوانات مزرعه‌ای داشتن رشد مطلوب می‌باشد، زیرا کاهش در نرخ رشد، موجب کاهش وزن هنگام فروش و کاهش سود دهی می‌شود (۱). تغییر در وزن زنده در یک دوره زمانی با منحنی رشد توصیف می‌گردد (۱۰). منحنی رشد، توصیف نموداری تغییرات رشد در یک دوره زمانی خاص می‌باشد که تغییرات تدریجی وزن بدن حیوان را در گذر زمان با دقت توصیف می‌کند و اغلب به صورت سیگموئیدی می‌باشد (۲۱). آنالیز عملکرد رشد حیوانات در دوره زندگی برای روش‌های تغذیه مناسب و انتخاب بهترین سن جهت کشتار از اهمیت خاصی برخوردار است. علاوه بر این به تعیین طرح‌های مدیریتی و طرح‌ریزی راهکارهای اصلاح نژادی به منظور بهبود پروسه‌ی رشد کمک می‌کند (۱۲).

مدل‌های ریاضی مختلفی برای توصیف ارتباط رشد به صورت تابع از زمان، مورد استفاده واقع شده است. دلیل استفاده از مدل‌های غیرخطی این است که اطلاعات زیادی از لحاظ بیولوژیکی، در مجموعه‌ی کوچکی از پارامترها تفسیر شود (۱۸). از این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های غیرخطی مانند نمایی منفی، لجستیک، ون برتالانفی، برودی، گمپرتز و ریچارد اشاره کرد. از مهمترین ویژگی‌های مدل‌های نامبرده می‌توان به توانایی آن‌ها برای توصیف افزایش وزن و ارزیابی برخی از پارامترهای مهم مانند وزن بلوغ، نرخ رشد و نرخ بلوغ اشاره کرد. این پارامترها ابزاری مناسب برای تخمین نیازهای تغذیه‌ای روزانه یا تاثیر شرایط محیطی در افزایش وزن حیوان می‌باشند (۱۹). در مقایسه‌ی مدل‌های مختلف در برازش منحنی رشد، مدل برودی برای گوسفند کوتوله آفریقایی، مدل لجستیک برای گوسفند Santa Ines و مدل گمپرتز برای گوسفند سافوک به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است (۸، ۶ و ۱۳). با توجه به اینکه، یک تابع رشد نتایج متفاوتی بر حسب نژاد و جمعیت مورد بررسی ارائه می‌دهد لذا مدل‌سازی رشد برای هر گله می‌بایست به طور جداگانه انجام گیرد (۲). گوسفند ماکوئی نژادی پشمی-گوشتی می‌باشد که در شمال غرب آذربایجان زیست می‌کند. پراکندگی و گستردگی این گوسفند در کشور ایران، شوروی و ترکیه می‌باشد و در ترکیه کارامان سفید نامیده می‌شود. تاکنون هیچ پژوهشی در مورد بررسی منحنی

۱-محقق مستقل، همدان، ایران (دانش آموخته دکترای ژنتیک و اصلاح نژاد دام، دانشگاه کردستان)
۲-دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(*- ایمیل نویسنده مسئول: mlganjnameh@gmail.com)
DOI:10.22067/ijasr.v12i2.78389

رشد در گوسفند ماکوئی صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه برآورد پارامترهای منحنی رشد با استفاده از مدل‌های غیرخطی نمایی منفی، لجستیک، ون برتالانفی، برودی و گمپرتز و انتخاب بهترین مدل برای توصیف منحنی رشد در گوسفند ماکویی بود.

مواد و روش ها

در این پژوهش به منظور مقایسه‌ی مدل‌های مختلف منحنی رشد از داده‌های ایستگاه اصلاح نژاد گوسفند ماکویی واقع در آذربایجان غربی، شهرستان ماکو که طی سال های ۱۳۷۳ الی ۱۳۹۰ جمع آوری شده بود، استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل ۵۹۱۳ رکورد وزن روزانه از ۱۹۶۶ بره نر و ۷۰۹۲ رکورد وزن روزانه از ۲۳۵۴ بره ماده بود (از تولد تا ۲۲۵ روزگی). در این ایستگاه میش‌های جوان در سن ۱/۵ سالگی آمیزش داده می‌شوند و به ازای ۱۵-۱۰ میش، یک قوچ در نظر گرفته می‌شود. بره‌زایی نیز از اوایل دی ماه شروع شده و تا اواخر فروردین ادامه می‌یابد. در هنگام تولد اطلاعات مربوط به بره شامل وزن بره، جنسیت، شماره پدر و مادر و تاریخ زایش ثبت می‌شود. بره‌ها تقریبا در سن سه ماهگی از شیر گرفته می‌شوند. بعد از شیرگیری بره‌ها و میش‌ها به صورت گله‌های جداگانه در مرتع نگهداری می‌شوند. پنج مدل غیرخطی به منظور بررسی منحنی رشد در گوسفند ماکویی برازش داده شد (جدول ۱). در این معادلات، Y وزن مشاهده شده در سن tام (به روز)، A وزن مجانبی یا وزن بلوغ، B ثابت انتگرال گیری یا نرخ رشد، k نرخ بلوغ، t سن به روز و e عدد نپر می‌باشند. برازش مدل‌های غیرخطی با استفاده از نرم افزار SAS 8.2 و رویهٔ حداقل مربعات غیرخطی (NLIN) و روش تکرار گاوس-نیوتن انجام شد.

جدول ۱- مدل های غیرخطی در نظر گرفته شده در این مطالعه برای توصیف منحنی رشد در گوسفند ماکویی

Table 1- Non-linear models considered in this study to describe growth curve in Makooei sheep

Model	Formula	Reference
Negative exponential	$Y = A[1-\exp^{(-kt)}]$	(۵)
Brody	$Y = A[1-B\exp^{(-kt)}]$	(۴)
Gompertz	$Y = A\exp[-B\exp^{(-kt)}]$	(۱۱)
Logistic	$Y = A/[1+B\exp^{(-kt)}]$	(۱۷)
Von Bertalanffy	$Y = A[1-B\exp^{(-kt)}]^3$	(۲۰)

Y: وزن مشاهده شده در سن tام؛ A: وزن بلوغ؛ B: نرخ رشد؛ k: نرخ بلوغ؛e: عدد نپر

Y: the animal weight at a given age (t); A: the asymptotic weight; B: the integration constant; K: the maturity rate; e = Eluer's number.

به منظور تعیین بهترین مدل از ضریب تبیین اصلاح شده (Adjusted Coefficient of Determination = R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error = RMSE) معیار انحراف آکائیک (Akaike's Information Criterion = AIC) و معیار انحراف بیزی (Bayesian Information Criterion = BIC) استفاده شد. در نهایت هر مدلی که بیشترین مقدار R^2_{adj} و کمترین مقدار RMSE، AIC و BIC را داشت، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. AIC و BIC نیز از معادلات ذیل محاسبه شدند:

$$AIC = n \times \ln(RSS) + 2p \quad (۱)$$

$$BIC = n \times \ln(RSS/n) + p \times \ln(n) \quad (۲)$$

که در این معادلات n: تعداد مشاهدات، RSS: جمع مربعات خطا و p تعداد پارامترهای آزاد در مدل می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از برآورد پارامترهای A، B، k، همبستگی بین پارامترهای A، B و k و مقادیر R^2_{adj} ، RMSE، AIC و BIC برای کل بره‌ها، بره‌های نر و ماده در جدول (۲) آمده است. منحنی رشد برازش شده با مدل‌های مختلف برای بره‌های نر و ماده در شکل‌های ۱ و ۲ ترسیم شده است. همینطور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است یک روند افزایشی برای وزن با افزایش سن دیده می‌شود که این نتایج با گزارشات سایر محققین همخوانی دارد (۹ و ۱۸). ضریب تبیین تصحیح شده برای همه مدل‌ها بیشتر از ۰/۸۴ بدست آمد. بیشترین مقدار R^2_{adj} برای کل بره‌ها، در مدل برودی و کمترین مقدار در مدل نمایی منفی بدست آمد. برای بره های نر و ماده نیز به ترتیب بر اساس مقدار R^2_{adj} مدل ون برتالانفی و برودی به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند. بر اساس معیار RMSE، AIC و BIC برای کل بره‌ها، بره های نر و ماده مدل برودی بهترین بود. بنابراین با نتایج بدست آمده مدل برودی به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. برای کل بره‌ها، بره های نر و ماده به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر برای پارامتر A که بیانگر وزن بلوغ می‌باشد، در مدل‌های لجستیک و برودی برآورد گردید. با توجه به اینکه وزن بلوغ تابعی از گونه، نژاد، روش انتخاب، سیستم مدیریت و شرایط محیطی می‌باشد،

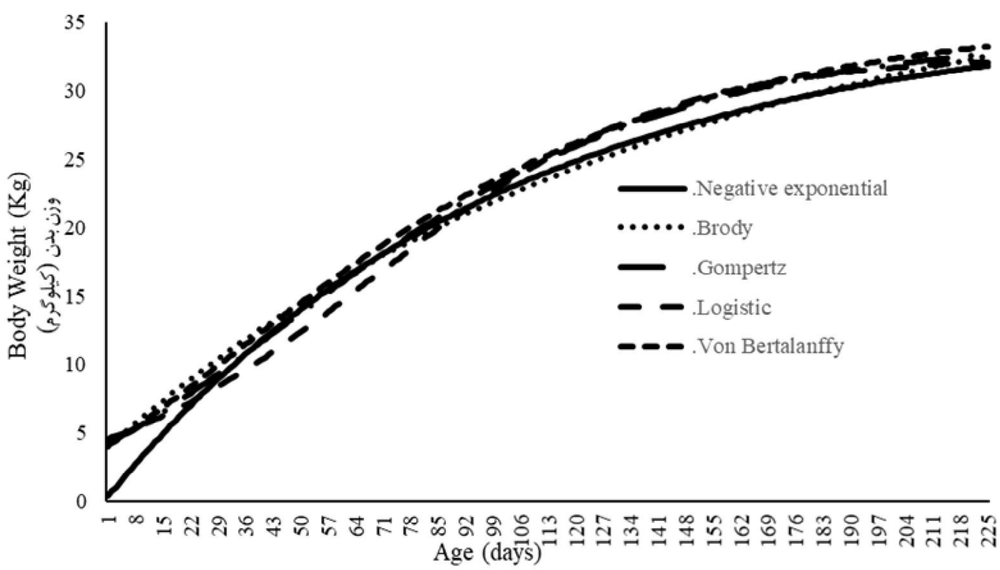
تعیین مقدار مناسب برای پارامتر A بحث برانگیز می‌باشد (۱۴). در مورد پارامتر B، برای کل بره‌ها، بره‌های نر و ماده، کمترین و بیشترین برآورد به ترتیب برای مدل‌های ون برتالانفی و لجستیک مشاهده گردید. پارامتر k که بیانگر نرخ بلوغ است نشان‌دهنده‌ی سرعت رشد برای رسیدن به وزن تقریبی می‌باشد. به ترتیب کمترین و بیشترین برآورد نرخ بلوغ (k) در مدل برودی (برای کل بره‌ها و بره‌های نر مقدار ۰/۰۰۷) و مدل لجستیک (برای بره‌ها ماده مقدار ۰/۰۲۸) بود. دفاطیما و همکاران (۷) با مقایسه‌ی مدل‌های مختلف در گوسفند Texel، با دو معیار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین، مدل برودی را به عنوان بهترین مدل، و مقادیر A، B و k را به ترتیب ۴۹/۴۷، ۰/۹۱ و ۰/۰۰۸ گزارش کردند. تاریگ و همکاران (۱۸) با مقایسه‌ی مدل‌های مختلف در گوسفند Mengali، بر اساس معیارهای مختلف مانند RMSE و معیار اطلاعات آکائیک، مدل Morgan-Mercer-Flodin را به عنوان بهترین مدل و مقادیر A، B، k و δ (پارامتری که نقطه عطف را کنترل می‌کند) را به ترتیب ۵۷/۰۶، ۳/۵۹، ۰/۰۰۴ و ۱/۱۰ گزارش کردند. دسیلوا و همکاران (۶) با مقایسه‌ی مدل‌های مختلف در نژاد Santa Inês، مدل لجستیک را به عنوان بهترین مدل انتخاب کردند. حسین پور مشهدی و همکاران (۹) به توصیف منحنی رشد در بره‌های نر و ماده نژاد بلوچی با مدل‌های غیرخطی رشد پرداختند و بر اساس معیار R^2، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا در بره‌های نر، مدل برودی و در بره‌های ماده مدل ون برتالانفی را به عنوان بهترین مدل گزارش کردند. این محققین مقادیر A ، B و k را به ترتیب بر اساس بهترین مدل برای نرها ۳۹/۳۸، ۰/۸۴ و ۰/۰۱ و برای ماده ها ۳۵/۸۶، ۰/۵ و ۰/۰۱ گزارش کردند.

جدول ۲- پارامترهای تخمین شده، همبستگی بین A، B و k، ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و معیار اطلاعات بیزی (BIC) برای منحنی‌های رشد مختلف در گوسفند ماکویی

Table 2- Estimated Parameters, correlation coefficient between A, B and k, Adjusted Determination Coefficient (R^2_{adj}), Root Mean Square Error (RMSE), Average Information Criteria (AIC) and Bayesian Information Criteria (BIC) for different growth curves in Makooei sheep

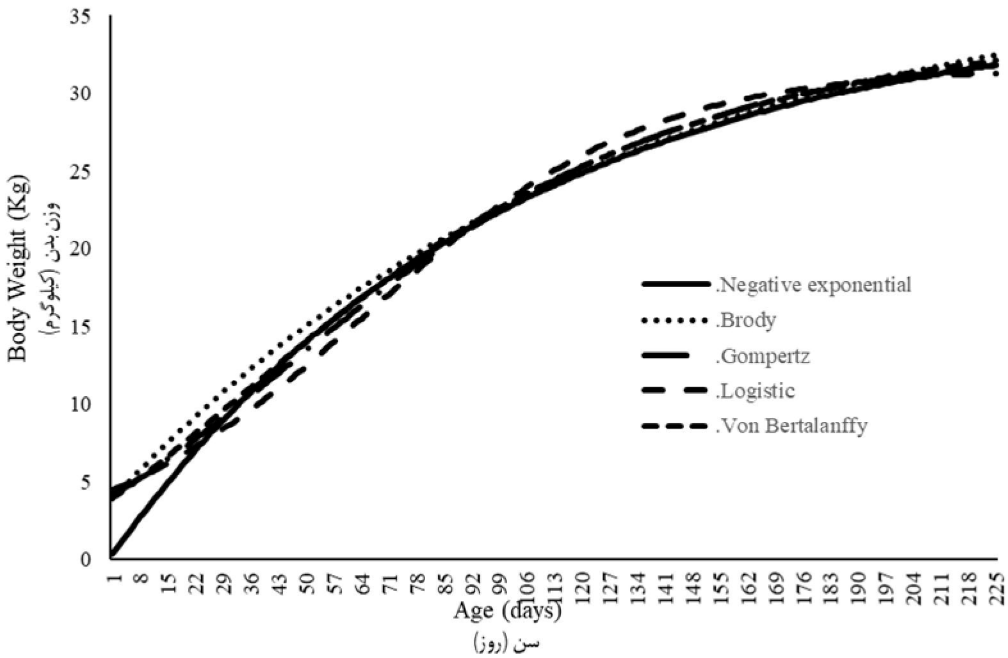
	Parameters پارامترها	Gompertz	Brody	Von Bertalanffy	Logistic	Negative Exponential
All Lambs کل بره‌ها	A	33.80	39.04	34.90	32.08	36.27
	B	2.13	0.91	0.52	6.28	-
	k	0.017	0.007	0.013	0.027	0.010
	r_{AB}	-0.03	0.26	0.03	-0.08	-
	r_{AK}	-0.83	-0.97	-0.89	-0.59	-0.96
	r_{BK}	0.43	-0.15	0.25	0.72	-
	R^2_{adj}	0.8769	0.8799	0.8781	0.8717	0.8505
	RMSE	4.25	4.20	4.23	4.33	4.69
	AIC	160845.10	160521.50	160710.90	161372.70	163369.30
	BIC	37670.04	37346.39	47535.84	38197.58	40186.69
Male Lambs بره‌های نر	A	34.24	40.04	35.57	32.57	37.04
	B	2.13	0.91	0.52	6.31	-
	k	0.017	0.007	0.014	0.027	0.010
	r_{AB}	-0.028	0.28	0.037	-0.082	-
	r_{AK}	-0.83	-0.97	-0.89	-0.60	-0.95
	r_{BK}	0.42	-0.17	0.25	0.72	-
	R^2_{adj}	0.8388	0.8666	0.8850	0.8790	0.8575
	RMSE	4.16	4.12	4.14	4.25	4.63
	AIC	68235.60	68091.57	68175.32	68476.24	69482.00
	BIC	16901.79	16757.75	16841.51	17142.43	18141.51
Female Lambs بره‌های ماده	A	33.29	38.18	34.33	31.66	35.59
	B	2.12	0.91	0.52	6.26	-
	k	0.017	0.008	0.014	0.028	0.010
	r_{AB}	-0.027	0.24	0.032	-0.073	-
	r_{AK}	-0.82	-0.97	-0.89	-0.59	-0.95
	r_{BK}	0.42	-0.13	0.26	0.72	-
	R^2_{adj}	0.8714	0.8746	0.8727	0.8661	0.8453
	RMSE	4.31	4.23	4.29	4.39	4.72
	AIC	83612.43	83433.39	0.83538.58	83899.89	84900.37
	BIC	20753.23	20571.43	20676.38	21037.69	22031.31

در این مطالعه، مدل برودی براساس معیار R^2_{adj}، RMSE، AIC و BIC برای کل بره‌ها به عنوان بهترین مدل انتخاب شد و مقـادیر A، B و k به ترتیب ۳۹/۰۴، ۰/۹۱ و ۰/۰۰۷ برآورد گردید. همچنین مقادیر A، B و k بر اساس بهترین مدل (بـرودی) بـه ترتیـب بـرای بره‌های نر ۴۰/۰۴، ۰/۹۱ و ۰/۰۰۷ و برای بره‌های ماده ۳۸/۱۸، ۰/۹۱ و ۰/۰۰۸ برآورد شد که با گزارشات محققیـن همخـوانی دارد (۹). در این مطالعه مقدار پارامتر A در بره‌های نر بیشتر از بره‌های ماده بـود. این نتایج بیانگر این است که که وزن بره‌های نر در هنگام بلوغ بیشتر از وزن بره‌های ماده می باشد. نئشولم و دنل (۱۶) علت بالا بودن وزن بره‌های نر در مقایسه با وزن بره‌های ماده را، تفاوت‌های هورمونی و فیزیولوژیکی در دو جنس بیان کردند. مهمترین رابطه بیولـوژیکی در منحنی رشد بین پارامترهای A و k می‌باشـد (۱۵). در ایـن مطالعـه کمترین مقدار همبسـتگی بـین ایـن دو پـارامتر در مـدل لجسـتیک (۰/۵۹-) و بیشترین مقدار در مدل برودی (۰/۹۷-) بدست آمد. رابطه منفی بین این دو پارامتر بیانگر این است، حیواناتی که زودتر به بلـوغ می‌رسند با احتمال کمتری در هنگام بلوغ وزن بالایی دارنـد، یـا بـه عبارت دیگر حیواناتی کـه وزن بلـوغ بـالایی دارنـد، در مقایسـه بـا حیواناتی که وزن بلوغ کمتری دارند دارای سرعت رشد کمتری مـی‌باشند (۶). بحرینی بهزادی و همکاران (۳) مقدار همبسـتگی بـین دو پارامتر A و k را در مدل لجستیک ۰/۶۳- و در مدل بـرودی ۰/۹۲- گزارش کردند که با نتایج حاصل از این مطالعه همخوانی دارد. مقدار همبستگی بین دو پـارامتر وزن بلـوغ (A) و نـرخ رشـد (B) در ایـن مطالعه در دامنه‌ی ۰/۲۸ و ۰/۰۸- بدست آمد. همبستگی منفی بـین پارامترهای A و B نشان دهنده‌ی این است که سرعت رشد سـریعتر می‌تواند سبب بروز وزن بلوغ کمتر شود (۹). در جـدول (۳) میـانگین وزنی پیش‌بینی شده و مشاهده شده در سنین مختلف (روز) آمده است. در سن ۹۰ روزگی مقادیر وزن پیش‌بینی شده در همـه‌ی مـدل‌هـای برازش شده از مقدار وزن مشاهده شده کمتر است. در روز تولد، سـن ۱۸۰ روزگی و ۲۲۵ روزگی مقادیر وزنی پیش‌بینی شده بـا توجـه بـه مدل‌های برازش شده، از مقدار وزن مشاهده شده کمتر یا بیشتر می‌باشد. برای وزن تولد، ۹۰ روزگی، ۱۸۰ روزگی و ۲۲۵ روزگی، کمترین تفاضل از میانگین وزنی پیش‌بینی شده و مشاهده شده بـه ترتیـب از مدل‌های گمپرتز، نمایی منفی، گمپرتز و لجستیک حاصل شد.



شکل ۱- وزن‌های پیش‌بینی شده (کیلوگرم) با استفاده از مدل‌های مختلف رشد برای بره های نر در گوسفند ماکویی

Figure 1- Predicted body weights (kg) obtained from different growth models for male lambs in Makooei sheep



شکل ۲- وزن‌های پیش‌بینی شده (کیلوگرم) با استفاده از مدل‌های مختلف رشد برای بره های ماده در گوسفند ماکویی

Figure 2- Predicted body weights (kg) obtained from different growth models for female lambs in Makooei sheep

جدول ۳- میانگین مقادیر وزن پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای همه‌ی بره‌ها از تولد تا ۲۲۵ روزگی بوسیله‌ی مدل‌های غیرخطی مختلف در گوسفند ماکویی

Table 3- Observed and predicted mean weight values for all lambs in Makooei sheep from birth to 225 days by different nonlinear model

وزن پیش‌بینی شده (Kg) Predicted weight (kg)	Age (day) سن (روز)			
	Birth تولد	90	180	225
Negative Exponential	0.0	21.53	30.27	32.34
Logistic	3.51	19.29	31.34	36.24
Von Bertalanffy	4.47	17.51	32.15	37.81
Brody	5.89	17.90	34.63	40.69
Gompertz	4.08	18.17	32.11	37.52
وزن مشاهده شده (Kg) Observed weight (kg)	3.89	21.86	31.77	35.78

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه به منظور تعیین بهترین مدل غیرخطی در توصیف منحنی رشد گوسفندان ماکویی، به مقایسه‌ی مدل‌های نمایی منفی، لجستیک، ون برتالانفی، برودی وگمپرتز پرداخته شد. مدل برودی بر مبنای معیار R^2_{adj}، RMSE، AIC و BIC به عنوان بهترین مدل در مقایسه با مدل‌های دیگر انتخاب شد. با توجه بـه ایـن نتـایج، مـدل برودی به منظور تعیین راهبردهای مدیریتی مانند تعیین برنامه‌هـای تغذیه‌ای و سن مناسب کشتار گوسفندان ماکویی پیشـنهاد مـی‌شـود. بنابراین می‌توان با استفاده از رسم منحنی رشد با مدل برودی در مورد حذف حیوانات کم تولید و انتخاب حیوانات پرتولید اقدام کرد.

منابع

1- Abegaz, S., J. B. Vanwyk and J. J. Olivier. 2010. Estimation of genetic and phenotypic parameters of growth curve and their relationship with early growth and productivity in Horro sheep. Archiv Tierzucht, 53: 85–94.

2- Bahreini Behzadi, M. R. 2015. Comparison of different growth models and artificial neural network to fit the growth curve of Lori-Bakhtiari sheep. Journal of Ruminant Research, 3: 125-148. (In Persian).

3- Bahreini Behzadi, M. R., A. A. Aslaminejad, A. R. Sharifi, and H. Simianer. 2014. Comparison of mathematical models for describing the growth of Baluchi sheep. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 57-68.
4- Brody, S. 1945. Bioenergetic and Growth. Reinhold Publishing Co, New York, USA, 1023 pp.
5- Brown, J. E., H. A. Fitzhugh, and T. C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. Journal of Animal Science, 42: 810–818.
6- da Silva, L. S. A., A. B. Fraga, F. D. L. Da Silva, P. M. G. Beelen, R. M. D. O. Silva, H. Tonhati, C. D. C. Barros. 2012. Growth curve in Santa Inês sheep. Small Ruminant Research, 105: 182–185.
7- De Fatima Sieklicki, M., V. Breno Pedrosa, C. Gomes Rocha, R. P. Moreira, P. Roberta Falcão, I. C. dos Santos, E. M. Ferreira, and A. de Souza Martins. 2016. Growth Curves of Texel Male Lambs. Acta Scientiae Veterinariae. 44, 1-6.
8- Gbangboche, A. B., R. Gleke-Kalai, L. G. Albuquerque, and P. Leroy. 2008. Comparison of nonlinear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. Animal, 2(308): 1003-1012.
9- Hosseinpour Mashhadi, M., M. Elahi Torshizi, and S. Ehtesham Gharaee. 2017. Description of Growth Curve in Male and Female Lambs of Baluchi Breed by Application of Nonlinear Growth Models. Research on Animal Production, 15: 155-160. (In Persian).
10- Keskin, I., B. Dag, V. Sariyel, and M, Gokmen. 2010. Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. South African Journal of Animal Science, 39 (2): 163-168.
11- Laird, A. K. 1965. Dynamics of relative growth. Growth, 29: 249–263.
12- Lambe, N. R., E. A. Navajas, G. Simm, and L. Bunger. 2006. A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds Journal of Animal Science, 84: 2642-2654.
13- Lewis, R. M., G. C. Emmans, and W. S. Dingwall. 2002. A description of the growth of sheep and its genetic analysis. Animal Science, 74: 51–62.
14- Malhado, C. H. M., P. L. S. Carneiro, P. R. A. M. Affonso, A. A. O. Jr Souza, and J. L. R. Sarmento. 2009. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. Small Ruminant Research, 84(3):16–21.
15- McManus, C., C. Evangelista, L. A. C. Fernandes, R. M. Miranda, F. E. Moreno-Bernal, and N. R. Santos. 2003. Growth curves of Bergamácia Sheep raised in the Federal District. Revista Brasileira de Zootecnia, 32 (5): 1207–1212.
16- Naesholm, A, and O. Danell. 1996. Genetic relationships of lamb weight, maternal ability, and mature ewe weight in Swedish finewool sheep. Journal of Animal Science-Menasha then Albany then Champaign Illinois, 74: 329-339.
17- Nelder, J. A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. Biometrics, 17: 89–110.
18- Tariq, M., F. Iqbal, E. Eyduran, M.A. Bajwa, Z.E. Huma, and A. Waheed. 2013. Comparison of non-linear functions to describe the growth in Mengali sheep breed of Balochistan. Pakistan Journal of Zoology, 45 (3): 661-665.
19- Teleken, J. T, A. C. Galvao, and W. D. S. Robazza. 2017. Comparing non-Linear Mathematical models to describe growth of different animals. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 39(1): 73-81.
20- Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quarterly Review of Biology, 32: 217–230.
21- Waheed, A., M. Sajjad Khan, A. Safdar, and M, Sarwar. 2011. Estimation of growth curve parameters in Beetal goats. Archiv Tierzucht, 54: 288-296.

Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 12, No. 2, Summer 2020, p. 223-229

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۲۹-۲۲۳

Comparison of some non-linear models for describing the growth curve in Makooei sheep

M. Latifi[1*], S. Alijani[2]
Submitted: 23-06-2018
Accepted: 03-07-2019

Introduction The Makooei sheep is a medium-sized, fat-tailed breed, carpet wool and white color breed. This breed dispreads mainly in the north west of the Iran in West Azerbaijan province. This sheep breed is called White Karaman in Turkey. Growth curve is the graph of weight as a function of age on time. The changes taking place in animal's body weight with the passage of time that is often sigmoid in shape. Further, information on the growth pattern helps determine feeding and management plans and planning breeding strategies to improve the efficacy of whole growth process. Using growth models is one of the ways that can be used to predict and measuring animal's performance, such as weight gain. In fact, growth models are linear or nonlinear regression functions that can predict growth at different ages of animal life. Non-linear mathematical functions, empirically developed by depicting body weight against age, have been appropriate to characterize the growth curve in different animal classes. Therefore, the objective of this study was to describe the growth curve of Makooei sheep using non-linear models. The Negative exponential, Brody, Gompertz, Logistic and von Bertalanffy models were used to evaluate their efficiency in describing the growth curve of Makooei sheep.

Material and method The used data included 5913 body weight records from 1966 male lambs and 7092 body weight records from 2354 female lambs (from birth to 225 days), collected during 1993 to 2011, at the Makooei Sheep Breeding station, in West Azerbaijan, Iran. In the station, each ram was randomly mated to 10-15 ewes. Lambing was in January and March and lambs were weaned until ~3 months of age. The lambs were weighed and ear tagged after birth. Data were checked several times, so defective and out of range records were deleted. The Negative exponential, Brody, Gompertz, Logistic, and Von Bertalanffy functions were fit to the data to model the relationship between weight and age. Each model was fitted separately to body weight records for all lambs, male and female lambs using the NLIN procedure in SAS 8.2. The non-linear mixed models were examined for goodness of fit using Adjusted Coefficient of Determination (R^2_{adj}), Root Mean Square Error (RMSE), Akaike's information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC). Finally, the best model was selected with the highest R^2_{adj} and the lowest RMSE, AIC and BIC.

Result and discussion All non-linear models showed good capacities of fitting for describing the growth curve in Makooei sheep**.** The R^2_{adj} for the Brody model was found the highest (0.8799) and the lowest for Logistic model (0.8505) for all lambs. The A parameter is an estimate of asymptotic weight which can be interpreted as the weight at maturity. For the studied dataset the highest and lowest values for the parameter A were obtained by Brody model (for all lambs = 39.04) and logistic model (for all lambs = 32.08), respectively. The parameter B represents an integration constant, related to the initial animal weight but lacking a clear biological interpretation. The highest and lowest values for the B parameter were obtained in Logistic model (for all lambs = 6.28) and Von Bertalanffy model (for all lambs = 0.52), respectively. The parameter k that defined the maturation rate is another important feature to be considered, since it indicates the growth speed to reach the asymptotic weight. Therefore, animals that have higher k values will reach puberty sooner. The estimate of k was highest in the Von Bertalanffy model (for all lambs = 0.10), while Brody (for all lambs = 0.01) and Negative exponential (for all lambs = 0.01) models showed lowest values. The results of this study showed that the Brody model with the highest R^2_{adj} and the lowest RMSE, AIC and BIC was able to describe the growth curve better than other growth models in Makooei sheep. In growth curve the most important biological relationship has been found between A and k. The lowest and highest correlation between the two parameters of A and k for all lambs was found for the logistic (-0.59) and Brody (-0.97) models, respectively.

Conclusion The results of this study suggest that the Brody model can be useful for set some management strategies such as determining nutritional programs and the appropriate age for slaughter of Makooei sheep.

Keywords: Body weight, Growth curve, Makooei sheep, Non-linear models.

1- Independent Researcher, Hamedan, Iran (PhD graduate of Animal Breeding and Genetics, University of Kordestan, Iran)
2- Associate Professor, Department of Animal Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: mlganjnameh@gmail.com)
DOI:10.22067/ijasr.v12i2.78389